美術館・博物館のための
空気清浄化の手引き

（平成 31 年 3 月）

目次

目次

1　空気清浄化のフローと手引きの構成 1

2　空気清浄化の基本 2

2.1　展示・収蔵環境の“のぞましい空気質” 2

2.2　室内の空気汚染の濃度レベル 4

2.3　空調のある展示室の空気汚染の濃度レベル 6

2.4　空調のある収蔵庫の空気汚染の濃度レベル 7

2.5　展示ケースの空気汚染の濃度レベル 8

3　清浄化（汚染からの回避と遮断） 9

3.1　ケミカルフィルタで取り除く 9

3.2　汚染化学物質の発生が少ない内装材料を選ぶ 10

3.3　内装材料の選定指標 11

3.4　枯らしにより汚染化学物質の発生を減らす 13

4　汚染の監視 14

4.1　展示・収蔵の空気環境を評価する 14

4.2　展示室と収蔵庫の空気汚染の測定方法 16

4.3　展示ケースの空気環境を評価する 17

5　空気清浄化のための対処 19

5.1　内装材料などの汚染化学物質の発生源を見直す 19

5.2　吸着材と遮蔽材により展示ケースを清浄化する 20

5.3　展示室・収蔵庫を換気して清浄化する 22

5.4　展示ケースを換気して清浄化する 23

5.5　空調機にケミカルフィルタを取り付けて清浄化する 24

よくある質問 25

付録 26

参考図書・参考文献 31

1　空気清浄化のフローと手引きの構成

美術館・博物館での展示・収蔵環境の空気清浄化は、基本原則にならって“保存環境づくり”の回避、遮断、監視、対処を図 1 に示すフローで実施します。本手引きではこのフローに従って記載しています。

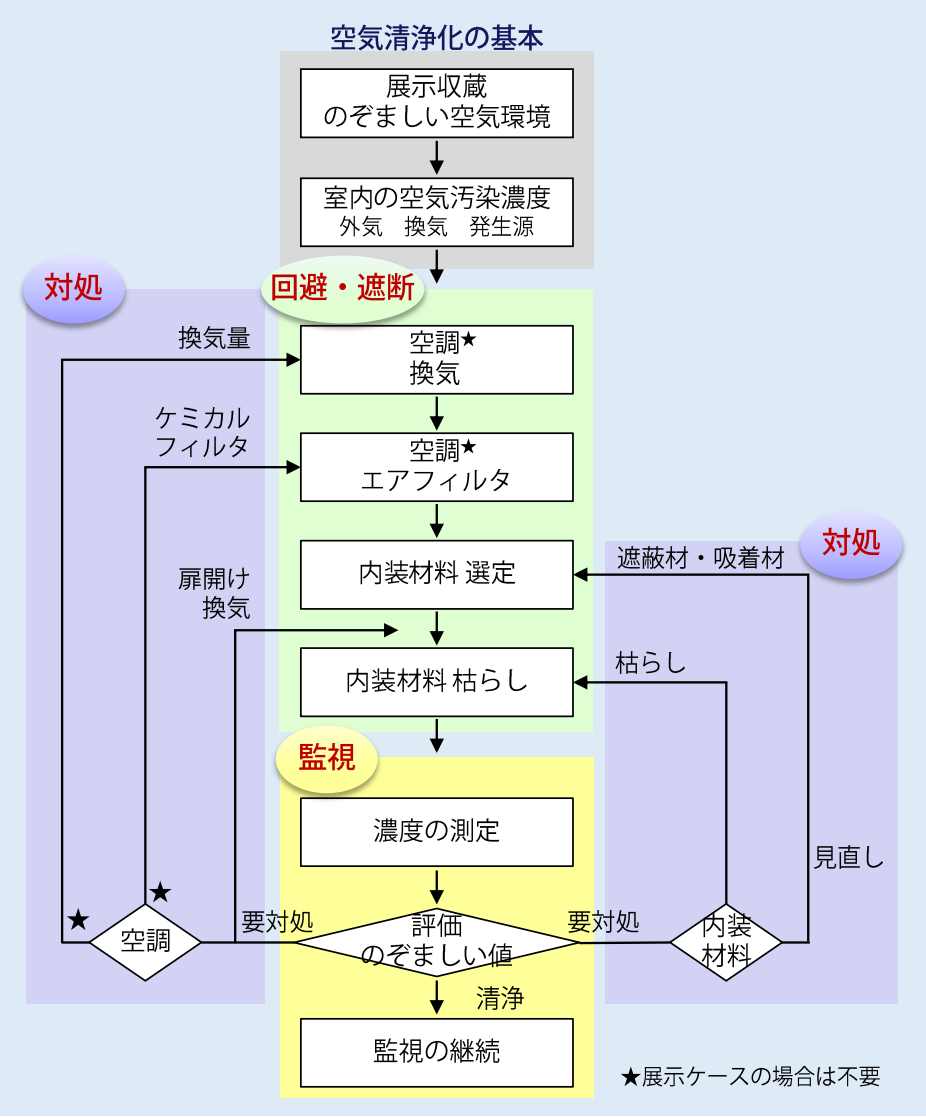


図 1　空気清浄化のチェックのフロー（展示・収蔵環境に空調のある場合）

空気清浄化の基本原則

1. 汚染物質を施設の外部から侵入させない
2. 施設内部で汚染物質を発生させない
3. 発生した汚染物質を除去する
4. 汚染の状況を監視する

2　空気清浄化の基本

2.1　　展示・収蔵環境の“のぞましい空気質”

展示・収蔵環境では、空気の汚染による資料の劣化が問題となります。劣化の要因となる汚染物質には様々な物質がありますが、それら汚染物質の少ない空気環境を維持することが必要です。

【解説】

空気中の汚染物質は、ガスと塵埃（粒子）があり、ガスは、二酸化硫黄や窒素酸化物、二酸化炭素、揮発性有機化合物など、様々な物質があります。大きな塵埃は目で観察でき、ガスは種類によっては臭いがあり人間の鼻で感知できますが、文化財で問題となるほとんどの物質は微量しか存在しないため感知できません。汚染物質による資料への劣化影響は資料を構成する素材によって様々で（表 1)、そのうち、美術館・博物館の建築材料から発生する酸性ガスの酢酸・ギ酸やアルカリ性ガスのアンモニアによる影響が問題となっています。東京文化財研究所では酢酸、ギ酸、アンモニア、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドについて、表 2 に示す濃度をのぞましい値として推奨しています[1)]。この値は、素材に対する劣化影響から設定していますので、表 1 に示す素材で構成される資料が展示・収蔵される環境では、この値を目安にしてください。なお、長期の公開や収蔵では、のぞましい値よりも清浄な環境に管理目標値を設定する必要があります。

1）東京文化財研究所.文化財公開施設の室内汚染物質測定に関するお問い合わせについて.
http://www.tobunken.go.jp/~hozon/announcement/ann3.html（参照 2018/2/25）

表 1　空気汚染の劣化影響

汚染物質	劣化影響
アンモニア	油画材料の亜麻仁油を変色させる
酢酸・ギ酸	日本画などの顔料や工芸品の鉛と反応し、酢酸鉛・ギ酸鉛となる
ホルムアルデヒド アセトアルデヒド	膠を硬化させる
二酸化硫黄	金属を腐食させる
窒素酸化物	有機物を脆くさせる、染料を変退色させる、金属を腐食させる
塵埃	摩耗や汚損の要因となる
オゾン	有機物を脆くさせる
二酸化炭素	弱酸として働き、絵具等を変色させる
硫化水素	金属と反応して硫化物を生成する
塩化水素	塩化物の生成し金属を腐食させる

表 2　空気質の“のぞましい値”[1)]

汚染物質	室内推奨値
アンモニア	30 ppb （22 μg/m^3）以下
酢酸	170 ppb（430 μg/m^3）以下
ギ酸	10 ppb （19 μg/m^3）以下
ホルムアルデヒド	80 ppb （100 μg/m^3）以下
アセトアルデヒド	30 ppb （48 μg/m^3）以下

2.2　室内の空気汚染の濃度レベル

室内空気の汚染濃度は、室内での汚染化学物質の発生量と、外の空気と入れ替わる量（換気量）、外の汚染濃度で決まります。

【解説】

室内の汚染濃度レベルを、二酸化炭素ガスを例に解説します（図 2）。

①部屋に人がいると、呼気から二酸化炭素ガスが発生します。着席している成人男子の場合、一人当たり 1 時間に約 20,000 mL の二酸化炭素ガスが発生します[2)]（発生量 20,000 mL/h）。

②部屋の外からの空気との入れ替えは、トイレの換気扇を運転すると、1 時間あたり約 40 m^3 の空気が入ってきます(換気量 40 m^3/h)。

③外気の二酸化炭素濃度は、以前は 350 ppm でしたが、地球温暖化の影響で上昇し、現在は 400 ppm です。

この場合、室内の二酸化炭素濃度は式 1 で表せます。

$$C = C_0 + \frac{M}{Q} \qquad \text{式 1}$$

C: 部屋の濃度（ppm）、C_0: 外の濃度（ppm）、M: 汚染物質発生量（mL/h）、Q: 換気量（m^3/h）。

＊ppm は mL/m^3 と同じ。

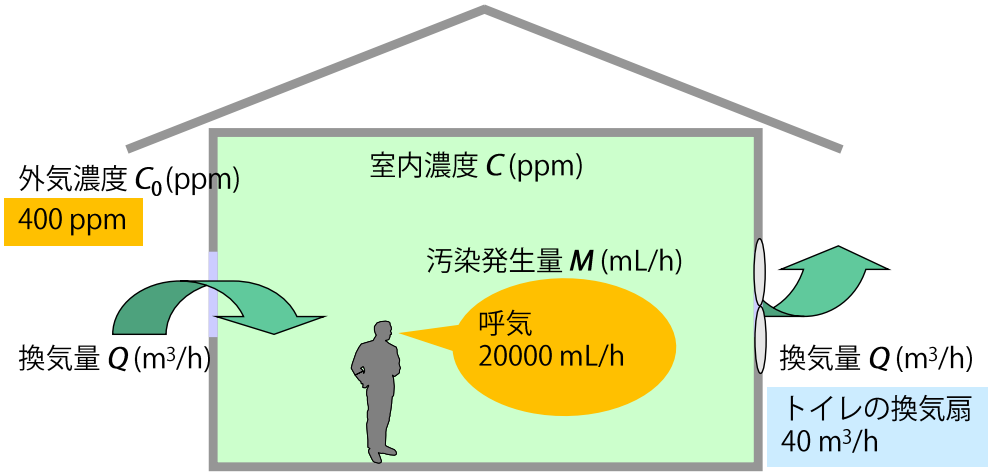


図 2　室内の空気汚染の濃度レベル

2）JIS A1406:1974. 屋内換気量測定方法（炭酸ガス法）

式 1 は次のようにして導かれます。汚染の発生（外からの流入と室内での発生）と室内から出ていく汚染（室内の汚染排出）が等しいので式 2 で表せます。左の項が発生、右の項が排出になります。この式を室内濃度として表したのが式 1 です。①室内汚染物質発生量、②換気量、③外気濃度の各値を式 1 にあてはめると、室内濃度は 900 ppm になります。

$$C_0 Q + M = CQ \qquad \text{式 2}$$

換気量と換気回数

1 時間に何回部屋の空気が入れ替わるかを「換気回数（回/h）」といいます。換気量と換気回数の関係は以下の式のようになります。

$$n = \frac{Q}{V}$$

n：換気回数（回/h）、V：部屋の容積（m^3）、Q：換気量(m^3/h)

2.3　空調のある展示室の空気汚染の濃度レベル

空調のある部屋の空気の汚染濃度は、室内の汚染発生量と、空調機によって外部と入れ替わる量、空調機のエアフィルタの性能、外の汚染濃度で決まります。

【解説】

空調は温度や湿度を調整する以外に、空気清浄化の役目があります。空調による空気の流れは、外の空気（外気）、部屋に送る空気（給気）、部屋から戻る空気（還気）、外へ捨てる空気（排気）があり、空調機では外気と還気を一緒に処理します（図 3）。空調機に備えてあるエアフィルタは塵埃しか取れませんので、汚染化学物質はそのまま室内に給気されます。従って、室内の汚染化学物質濃度は室内の空気汚染の濃度レベルで示す式 1 で表せます。ここで、取り入れる外気量が換気量に相当します。

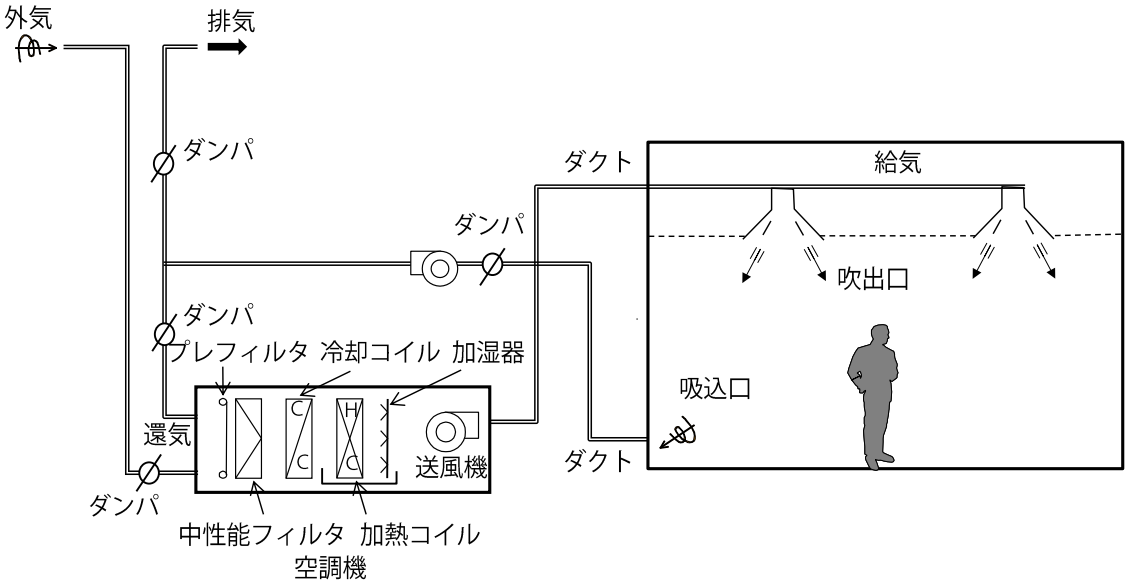


図 3　空調のしくみ

展示室の換気量(換気回数)は、公衆衛生上の基準[3]から室内の二酸化炭素濃度を 1000 ppm 以下とするように設計されています。通常の展示室は、最大の観覧者数を想定した換気回数で設計されています。

3）厚生労働省. 建築物環境衛生管理基準について. http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/seikatsu-eisei10/（参照 2018/2/25）

2.4　空調のある収蔵庫の空気汚染の濃度レベル

収蔵庫の空調は、庫内に給気する場合と収蔵庫周りに二重壁層（エアチャンバ）を設けて庫内を空調せずにエアチャンバに給気する方式があります。それぞれ換気量は異なりますので、空気汚染濃度レベルも変わります。

【解説】

一般に収蔵庫の空調は、図 4 に示す方式があります。庫内に給気する方式である(b)（c）では、庫内の空気汚染は換気により清浄化がはかれますが、エアチャンバに供給する方式（a）の場合、換気量はほぼゼロになり清浄化には向いていません。両方式とも空気汚染レベルは式 1 で表せますが、方式（a）の場合、換気回数は 0.1 回/h 程度となります。

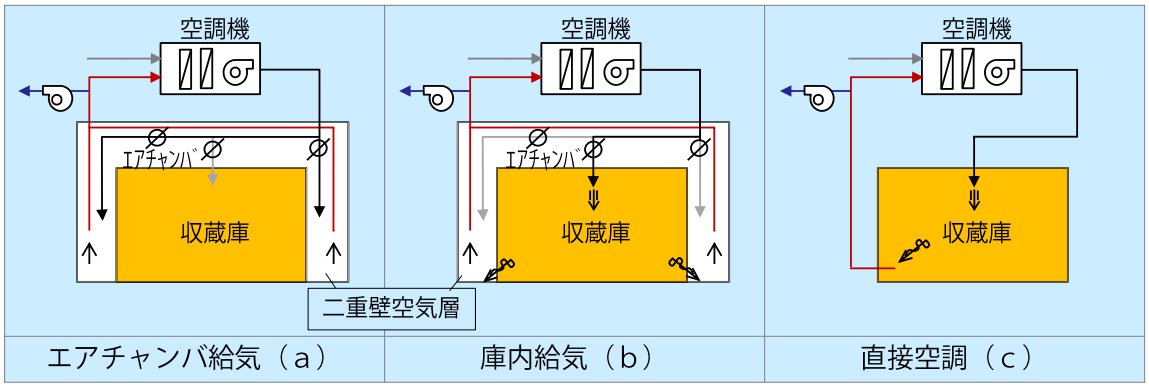


図 4　収蔵庫の空調方式

2.5　展示ケースの空気汚染の濃度レベル

展示ケースは長期間密閉され、展示室の空気と入れ換わる量も少なく、また、空間容積も展示室や収蔵庫と比べて狭く、空気の汚染濃度が高くなります。

【解説】

展示ケース内の空気の汚染濃度は、室内の空気汚染濃度を示した式 1 と算出方法が同じで、部屋の換気回数に相当するのが空気交換率です。空気交換率はケース内の空気が、展示室の空気と 1 日何回入れ替わるかを表したものです。表 3 は独立ケースを例に、空気交換率の違いによる展示ケース内の酢酸濃度を示しています。空気交換率が 0.3 回/日程度のエアタイトケースは、ケース内での汚染の発生が少なくても濃度が高くなります。展示ケースを開けた時に異臭がするのは、使われている内装材料からの揮発性有機化合物の発生によるもので、このような時は資料に影響する物質の汚染レベルが高くなっているので注意が必要です。

表 3　展示ケース内の酢酸濃度

展示ケース条件[4]	空気交換率（回/日）	換気回数（回/時）	展示ケース濃度（μg/m³）
独立ケース　容積 0.55 m³、展示床 0.56 m²、放散速度 10 μg/m²･h 展示室濃度 25 μg/m³	1.0	0.04	270
	0.5	0.02	514
	0.3	0.01	840

4）呂俊民，古田嶋智子，林良典，須賀政晴，佐野千絵．試験用実大展示ケースを用いたケース内のガス清浄化と濃度予測．保存科学．55, 125－138（2016）

3　清浄化（汚染からの回避と遮断）

3.1　　ケミカルフィルタで取り除く

室内の空気を清浄化するには、あらかじめ空調機にケミカルフィルタを取り付け、汚染化学物質を取り除く方法があります。

【解説】

美術館・博物館の新築や改築にあたっては、あらかじめ空調機に汚染化学物質を除去するフィルタ（ケミカルフィルタ*）をつけることで、取り込む外気中の汚染化学物質や室内で発生した汚染化学物質を清浄化できます。

展示室、収蔵庫の空調機にケミカルフィルタを取り付けるには、担当者（美術館・博物館の建設担当者や設計者）にお願いしてください。展示室は資料展示時までに、収蔵庫は資料搬入までに「のぞましい値を満足するように」と指示してください。

ケミカルフィルタにはいろいろな種類があり、代表的なものを表 4 に示します。活性炭により化学物質を吸着するものと、化学物質を添着した吸着剤により化学反応や触媒機能を利用して除去するものがあります。活性炭フィルタは臭いの除去に向いていますが、使用しているうちに化学物質が脱離しますので注意が必要です。化学物質添着フィルタは酸性ガス用とアルカリ性ガス用があります。酸性ガス用は酢酸やギ酸などの有機酸を除去でき、アルカリ性ガス用はアンモニアなどのアルカリガスを除去できます。どの化学物質を取りたいかによって、ケミカルフィルタを選択する必要があります。詳細はフィルタメーカーに問い合わせください。

＊ケミカルフィルタには、ケミカルエアフィルタ、ガス除去フィルタ、化学吸着フィルタなどの呼び方があります。

表 4　ケミカルフィルタの例

名称		対象化学物質（発生源）	機構
活性炭フィルタ		揮発性有機化合物（内装材料）、臭気、有機溶剤、オゾン、二酸化窒素、硫化水素、二酸化硫黄（大気汚染）	活性炭による化学物質の吸着
化学物質添着フィルタ	酸性ガス除去用フィルタ	酢酸、ギ酸（内装材料）、硫化水素、二酸化硫黄、塩化水素、フッ化水素（大気汚染）	基材の活性炭、ゼオライトの化学物質吸着と添着薬剤炭酸カリウムとの化学反応
	アルカリガス除去用フィルタ	アンモニア（コンクリート、ペンキ、入館者からの汗）	基材の活性炭の化学物質吸着と添着薬剤リン酸との化学反応
	S 系除去用フィルタ	ホルムアルデヒド（内装材料）、硫化水素、二酸化硫黄、メルカプタン（火山ガス）	基材の活性炭の化学物質吸着と過マンガン酸カリウムとの触媒反応

3.2　汚染化学物質の発生が少ない内装材料を選ぶ

内装材料からは汚染化学物質が発生しますので、展示室・収蔵庫や展示ケースには、汚染化学物質の発生が少ない内装材料を選定してください。

【解説】

内装材料からの化学物質の出やすさを「放散速度」と呼び、内装材料の単位面積、時間当たりの化学物質発生量を示したもので、単位は μg/m²・h、または mL/m²・h です。ホルムアルデヒドに関しては、F☆☆～F☆☆☆☆という等級で放散速度（表 5）を示しますが、酢酸やアンモニアに対する等級表示はないため、内装材料からの放散速度を得るには新たに試験を実施する必要があります。

美術館・博物館で問題となる酢酸やアンモニアの放散速度を用いて内装材料の使用の可否を判断する方法の一つに、使用している内装材料の面積から時間当たりの汚染発生量（μg/h、または mL/h）を算出し（式 3)、室内濃度を式 1 から算出します。

$$M = E \times S \qquad \text{式 3}$$

M: 汚染発生量（μg/h、mL/h)、E: 放散速度（μg/m²・h、mL/m²・h)、S: 使用材料面積（m²）

例えば、床材と壁材が異なる材料であれば、両方の汚染発生量を足し合わせます。放散速度が小さくても、使用する材の面積が大きければ汚染発生量は大きくなり、影響が大きくなります。室内濃度を試算するには、外気濃度はゼロとして計算し、算出した濃度とのぞましい値と比較します。

放散速度は JIS に定められたチャンバー試験法[5)]により求めますが、この測定には専用の機材が必要なため、専門の計測機関や材料メーカー、設計会社、施工会社に依頼することになります。そこで、展示収蔵環境で用いられる内装材料の選定には簡便な試験方法[6)]や、JIS に準拠した放散ガス試験法[7)] を採用します。

表 5　建築材料の区分

区分等級	ホルムアルデヒド放散速度
F☆☆☆☆	5 μg/m²・h 以下
F☆☆☆	5～20 μg/m²・h
F☆☆	20～120 μg/m²・h

5）JIS A 1901:2015. 建築材料の揮発性有機化合物、ホルムルデヒドおよび他のカルボニル化合物放散量測定方法
6）呂俊民, 佐野千絵. 文化財保存のための保管空間に影響するガス放散体の簡易試験法.保存科学. 49, 139－149（2010）
7）古田嶋智子, 呂俊民, 佐野千絵.　展示収蔵環境で用いられる内装材料の放散ガス試験法. 保存科学. 51, 271－279（2012）

3.3　内装材料の選定指標

内装材料の選定のための情報には、放散速度のほかに材料の安全データシート（Safety Data Sheet、略称 SDS）があります。建材の SDS 情報からホルムアルデヒドの放散速度 F☆☆☆☆等級を選び、また、酢酸やアンモニアを主成分とする材料は選定しないようにします。

【解説】

ホルムアルデヒドの放散量が少ない F☆☆☆☆等級のものを選ぶことにより、多くは他の化学物質類の放散も少なくなります。

また、SDS には材料の主成分が記載されています。酢酸やギ酸、アンモニアといった資料に影響を及ぼす化学物質が主成分として含まれる材料は、注意が必要です。現時点の内装材料選定のための情報を表 6 にまとめていますので、参考にしてください。

展示ケースの内装材料と展示室の壁材には、クロス貼り合板が多く用いられ、下地の合板に接着剤を用いてクロスを貼っています。さらに展示室はその上にペンキ塗装をしている例があります（図 5）。中でも、合板は長時間にわたり化学物質を放散するので、その選定に注意してください。

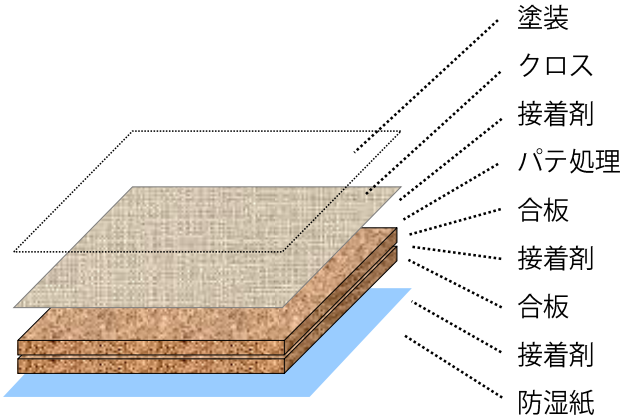


図 5　クロス貼り合板の構成

表 6　内装材料選定のための情報[8, 9, 10)]

<table>
<tr><th>対象</th><th>部位</th><th colspan="2">内装材料</th><th>SDS 情報のチェック内容</th></tr>
<tr><td rowspan="5">展示
ケース</td><td rowspan="3">内装材料</td><td rowspan="3">クロス
貼合板</td><td>合板</td><td>合板製作に用いる接着剤は、フェノール系接着剤を使用したものを推奨。</td></tr>
<tr><td>クロス
接着剤</td><td>酢酸ビニル樹脂でんぷん糊は、初期に酢酸放散があるため、必ず枯らしを実施する。</td></tr>
<tr><td>クロス</td><td>セルロース繊維を基材としたクロスを使用する。
難燃剤の種類をチェックし、リン窒素化合物が使用されている場合、初期にアンモニア濃度が高くなるため、十分枯らして使用する。
化粧層、裏打ち接着剤に酢酸ビニル系樹脂が使用されているため、枯らしを実施する。</td></tr>
<tr><td>ガラス</td><td colspan="2">反射防止フィルム</td><td>ポリエステル樹脂フィルムを使用する。</td></tr>
<tr><td>接合部</td><td colspan="2">コーキング剤*</td><td>脱酢酸タイプは使用しない。
脱オキシムタイプを推奨。</td></tr>
<tr><td rowspan="4">展示室</td><td>床</td><td colspan="2">フローリング、
タイルカーペット</td><td>木質系の材は、F☆☆☆☆でも有機酸が発生するので注意が必要。
防腐剤やほつれ防止剤などにアンモニアが含まれていないこと。</td></tr>
<tr><td rowspan="2">壁</td><td colspan="2">クロス貼合板</td><td>展示ケースに同じ。</td></tr>
<tr><td colspan="2">ペンキ塗装</td><td>アクリル樹脂系合成樹脂エマルジョン塗料を推奨。
塗装直後に塗料から化学物質を放散するため、必ず枯らしを実施する。</td></tr>
<tr><td>天井</td><td colspan="2">化粧板、岩綿吸音板</td><td>枯らしを実施する。</td></tr>
<tr><td rowspan="2">収蔵庫</td><td>床</td><td colspan="2">仕上げ材</td><td>木質系の材は、F☆☆☆☆でも有機酸が発生するので注意が必要。</td></tr>
<tr><td>壁・天井</td><td colspan="2">仕上げ材</td><td>無機質系調湿材を推奨。</td></tr>
</table>

＊展示ケースの気密性を上げるために用いますが、硬化反応に伴い発生する化学物質の種類により脱オキシム型、脱アルコール型、脱酢酸型などがあります。

注）どの材料を使用する場合も十分な枯らしと、設置場所への空調による換気を実施してください。

8）呂俊民，古田嶋智子，林良典，佐野千絵．展示空間に用いるクロス材の放散ガスの測定と評価．保存科学．52, 207－216（2013）

9）古田嶋智子，呂俊民，佐野千絵．展示収蔵環境で用いられる内装材料の放散ガス試験法．保存科学．51, 271－279（2012）

10）古田嶋智子，呂俊民，林良典，佐野千絵．展示収蔵施設に用いられる木質材料の放散ガス試験．保存科学．52, 197－205（2013）

3.4　枯らしにより汚染化学物質の発生を減らす

内装材料からの汚染化学物質の発生を減らすためには、枯らしを実施してください。合板では、初期の大きな汚染化学物質の放散は、周囲の環境にもよりますが、7 日間程度で減少し、その後は小さな放散が継続します。初期の放散を確実に減らすために枯らしをおこなってください。

【解説】

枯らしとは汚染化学物質を放散させるための通風乾燥期間のことで、シーズニングとも言われます。

塗料、接着剤、コーキング剤などは、硬化反応に伴い化学物質を放出します。この反応中に枯らしをおこなうことで、放散する化学物質が減少します。

木質材料は初期の放散が終わってからも材料内部から微量の化学物質が出続け、長期間にわたり放散が継続します。参考に、枯らし期間に応じたクロス貼り合板試料からの化学物質放散速度の減衰を表 7 に示します。

表 7　クロス貼り合板からの枯らし期間による化学物質放散速度 [8)]

	アンモニア			酢酸		
枯らし期間（日）	1	7	21	1	7	21
放散速度（μg/m²･h）	116	7	3	309	14	4

4　汚染の監視

4.1　　展示・収蔵の空気環境を評価する

酸アルカリ雰囲気を評価するには、汚染化学物質の濃度がわかる精密測定法と検知管法、簡便な方法としてパッシブインジケータ法と変色試験紙法があります。目的に応じてこれらの方法を選択して評価します。

【解説】

酸アルカリ雰囲気を評価する 4 つの方法について、その特徴を示します。

＊検知管、パッシブインジケータ、変色試験紙の使用方法は、巻末の付録を参照してください。

①　精密測定法（図 6）

空気中の汚染化学物質をポンプにて吸収液に捕集し、分析室に持ち帰り分析します。イオンクロマトグラフ分析装置を用いれば、酢酸、ギ酸やアンモニアの濃度が測定できます。測定には、専用の機材や分析機器が必要となるため、専門の計測会社に依頼することになります。

図 6　精密測定風景

②　検知管法（図 7）

文化財施設に対応した濃度のアンモニアや有機酸が測定できる検知管が市販されています。専用のポンプで 1 時間吸引し、変色した長さから濃度値を得ることができ、のぞましい値との比較が可能です。検知管の読み取り値は、測定時の温度が影響しますので、同時に測定した温度により補正します。詳細は検知管の取り扱い説明書とメーカー[11]の資料に記載されています。

図 7　検知管とポンプ

有機酸用検知管は、酢酸とギ酸の両方に対して変色します。ただし、展示・収蔵環境ではギ酸濃度は酢酸濃度に比べ低い値なので[12]、有機酸濃度を酢酸濃度として概ね評価できます。検知管法では、ギ酸濃度の評価は難しいのが現状です。

11）光明理化学工業. http://www.komyokk.co.jp/kweb/pbdetail.do?bunrui=1160&seqno=78&je=0（参照 2018/2/25）

12）呂俊民, 古田嶋智子, 佐野千絵. 展示ケース内有機酸濃度のギ酸/酢酸比. 保存科学. 53, 205－214（2014）

③　パッシブインジケータ法（図 8）

有機酸用とアンモニア用があります。有機酸インジケータは、4 日間曝露して検知剤が青色から緑色に変色した時に曝露期間の平均濃度が 175 ppb、7 日間曝露した時に 80 ppb になるように作られています。のぞましい値の判定では 4 日間、さらに低い濃度を判定したい時に 7 日間曝露します。アンモニアインジケータは 4 日間曝露して赤から黄色に変色したときに、のぞましい値 30 ppb になるように作られています。変色の度合から曝露期間における平均的な汚染レベルがわかります。色の判定の詳細は、メーカーの資料[13)]に記載されています。

有機酸インジケータは大気汚染物質と反応して変色するため、外気との空気交換の多いエントランスホールなどの評価は困難です。

図 8　パッシブインジケータ

④　変色試験紙法（図 9）

変色試験紙は室内およびケース内の環境が酸性あるいはアルカリ性に偏っていないかチェックするためのものです。試験液とろ紙を購入し[14)]、24 時間曝露後の呈色から、室内空気の偏苛度（酸性～中性～アルカリ性）を付属の判定票から定性的に判定しますが、汚染物質の特定はできません。また、汚染物質存在下でも酸・アルカリのバランスにより中性を示す可能性があり、清浄に近い環境でも酸性、アルカリ性を示す可能性もあります。

図 9　変色試験紙

“のぞましい値”と比較して評価するには① ②の方法を用いますが、③の方法でも測色計を用いることで数値データを得ることができます。

13）ガステック. http://www.gastec.co.jp/files/topics/1489_ext_03_0.pdf
内外テクノス. http://www.na－igai-technos.co.jp/products/eco/detail.php?seq=15
フミテック. http://fumitech.webcrow.jp/commodity/passive.html
太平洋マテリアル. http://www.taiheiyo-m.co.jp/products/productsSubtop_6/products_6/productEntry-165.html.（全ての参照 2018/2/25）
14）文化財虫菌害研究所. http://www.bunchuken.or.jp/publication/apparatus/（参照 2018/2/25）

4.2　展示室と収蔵庫の空気汚染の測定方法

新築や改築した美術館・博物館では、空気汚染の測定を館が竣工してから開館するまでの間に実施します。竣工後 2 年間は、6～10 月にかけて毎月の測定を推奨します。その後は、2～3 年毎に測定し、長期の監視を続けてください。ただし、空気質の変化が考えられる場合は、適宜実施してください。

【解説】

新築や改築した館での開館時までの測定は、その後の経過をみる上で必ず実施してください。収蔵庫、展示室、展示ケースでは、完成時期が異なる場合が多く、全ての測定を一緒におこなえない場合があります。設計者、施工業者、メーカーとよく相談して測定する部屋を決めます。測定点は、展示室や収蔵庫が複数ある場合には各部屋での測定を勧めますが、空調や内装材料の仕様と施工時期が同一の場合は、代表となる部屋を選んでください。測定点は部屋の中央、高さ 1～1.5 m の場所でおこなってください。また、同時に温度も測ってください。

測定にあたっては、

- 空調のある部屋での測定では、実際に部屋が使われる時の温湿度、風量で空調を運転させてください。
- 空調運転を開始後、開館時間に合わせて空調する展示室では 7 時間以上、収蔵庫では 1 日以上経過し安定した状態で測定してください。

竣工後 2 年間は、建築材料からの化学物質の放散が季節により変化します。特に夏は化学物質の放散が促進されますので、6～10 月は毎月、測定をおこなうとよいでしょう。その後は、2～3 年毎に測定を続けてください。ただし、以下のような空気質の変化が考えられる場合は、適宜、測定を実施してください。測定点は、資料を置かれる周辺で実施してください。

① 持ち込む什器棚類からの汚染化学物質の放散影響が懸念される場合
② 展示ケースに新規に架台を設置した場合
③ 内装をリニューアルした場合
④ 空調のケミカルフィルタが使用後 2 年以上経過した場合
⑤ 空調の外気取り入れ量を減らした場合

4.3　展示ケースの空気環境を評価する

展示ケースの空気は長時間にわたってケースを閉めた状態ですので、その状態での空気汚染レベルを知る必要があります。展示ケースの扉を開放した状態から閉めた直後は、展示室濃度に影響されますので注意が必要です。

【解説】

精密測定や検知管測定の場合、ポンプを用いて空気を吸引する必要があります。展示ケースの外からポンプで内部の空気は吸引できませんので、ポンプなどの測定機材をケース内部に設置する必要があります。そこで、測定機材のセットに伴う展示ケース内空気の入れ替えの影響を減らすため、ケース扉を閉めた後、ポンプ内蔵のタイマーを用いて測定をおこなってください。ただし、展示期間中に測定機材を設置したままにはできませんので、閉館時に測定をおこなうことを想定した以下の手順を推奨します。

［測定手順］

① 展示ケースは、予め 3 日間以上締め切った状態を保ってください。
② ポンプのタイマーは、機材設置後 30 分から 1 時間後に測定が開始するように設定します。
③ 展示ケース扉を開閉し、迅速に測定機材をケース内に設置してください（図 10）。
④ 測定結果には、次の条件を記載してください。
測定前に展示ケースを閉め切っていた期間、展示ケースの空気交換率（展示ケースメーカーの測定データ、または仕様より入手可能）、測定時の温度（展示ケース内と展示室）。

展示ケース内の濃度は、展示ケース内の空気を展示室の空気と入れ替えた後に上昇します。空気交換率 0.5 回/日のエアタイトケースでは、7 日後にはほぼ飽和状態になります。1 週間ごとの休館日を利用して展示ケースを開けて清浄化をはかることを想定した場合、閉めきった 1 週間の平均濃度は 3 日後の濃度がおおよその平均値になります。従って手順①で展示ケースは、予め 3 日間閉めきった状態を保ってください。展示ケースを長期間閉めたまま展示をする場合は、7 日以上の閉めきった状態での測定を推奨します。

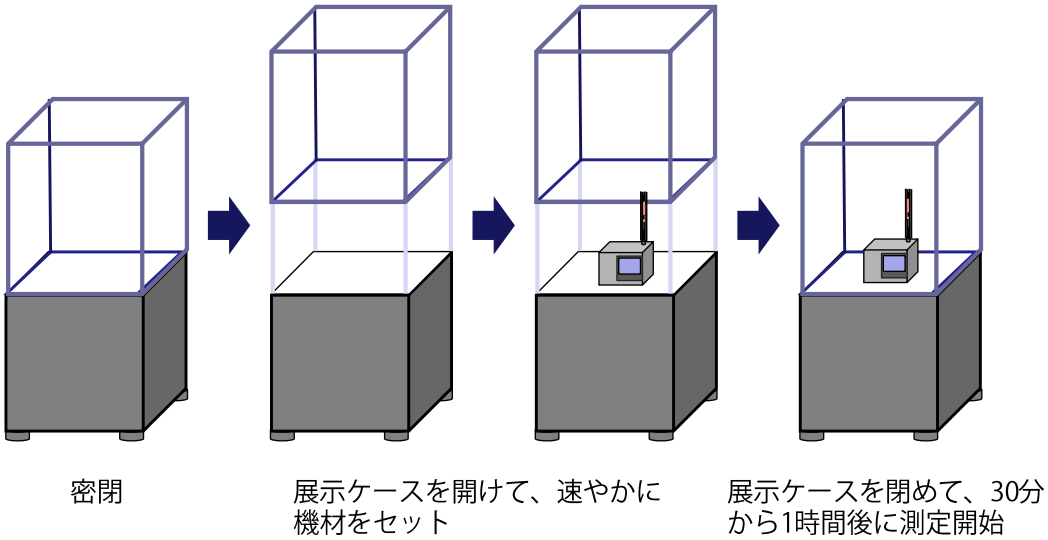


図 10　展示ケースの測定

5　空気清浄化のための対処

5.1　内装材料などの汚染化学物質の発生源を見直す

空気中の汚染化学物質濃度が高い場合、周囲の内装材料から汚染化学物質が放散して濃度を高くしている可能性があります。内装材料の選定リストや、施工時の内装材料の枯らし期間、完成後に新たに設置・搬入した治具類があるかなどの情報を確認します。

【解説】

使用している内装材料で、放散速度の確認をおこなっていないもの、また施工時期より枯らし期間の短いものがないかを確認します。

開館後の空気質測定では清浄であったのに、その後に空間の汚染濃度が高くなった場合は、持ち込まれたものを確認してください（表 8）。特に、展示ケースでは展示架台が原因となり、展示ケース内が高濃度になる例があります。交換可能なもの、不必要なものは撤去します。また、収蔵庫に持ち込まれた梱包材料も必要がなければ撤去してください。

表 8　汚染の発生源の例

場所	対象物	汚染化学物質
展示ケース	架台 クロス貼替え	有機酸
展示室	展示ディスプレイ クロス貼替えペンキ塗装 床ワックス	有機酸、ホルムアルデヒド、アンモニア
収蔵庫	棚 梱包材	有機酸、ホルムアルデヒド

5.2　吸着材と遮蔽材により展示ケースを清浄化する

展示開始後は、展示ケースの内装材料や展示架台からの汚染化学物質の放散の影響を減らすために吸着材や遮蔽材を用いて展示ケース内の汚染濃度を下げる方法があります。シート状の吸着材は発生している部位に貼り付け、粒状の吸着材は展示ケース内に設置してください。

【解説】

吸着材は多種あり、化学物質の種類によっては吸着除去できないものもありますので、どの化学物質を吸着したいのか明確にして、メーカーに問い合わせてください。フィルタメーカーでは、空調用濾材をシート状にして粒状の吸着材を袋入りで提供しています（表 9、図 11）。吸着シートの交換時期についてもメーカーに問い合わせてください。

表 9　吸着材の種類

形状	使用例	性能、注意点
シート状吸着材	化学物質が発生している面に貼る。	吸着する化学物質の量が少ない。 吸着材の種類により除去できる化学物質が決まる。
粒状吸着材	粒状の吸着材（活性炭、ゼオライト、化学物質添着活性炭）をトレイに入れる。	粉の飛散に注意する。 化学物質と吸着材が接触する面が小さいので、濃度を下げるには時間がかかる。
不織布の袋入り粒状吸着材	空間に設置する。	空間の空気と接触させるようにする。
繊維状吸着材	繊維状活性炭素をシート状にしたものを化学物質が発生している面に貼る。	活性炭で除去できる化学物質に限られる。
ケミカルフィルタ	粒状吸着材を不織布で挟みこんだもの化学物質が発生している面に貼る。	切断面から吸着材の粉の飛散に注意する。 シート状より厚みがあり、発生面を完全に覆うのが難しい。 定型のもので端部からの飛散を防いだものもある。

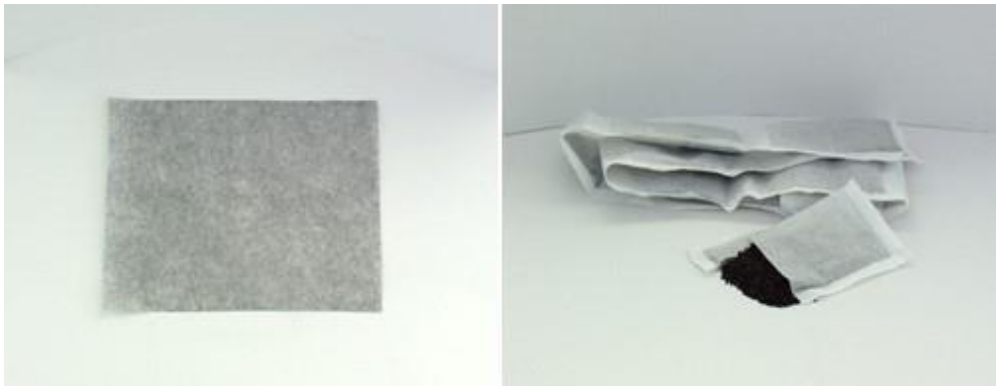


図 11　吸着材の種類例（左：シート状、右：袋入り活性炭）

展示期間中の展示ケース内への吸着材の設置は、展示の妨げにならないようにおこなう必要がありますので、展示架台の裏面に取り付けたり、調湿剤ボックスに設置したりします（図 12）。しかし、全ての汚染物質発生面に取り付けられないため、急激には展示ケース内の濃度は下がりません。

遮蔽材は、化学物質透過性の低いプラスチックフィルムや金属箔のシートにより内装材料発生面や展示台を覆い、空間に汚染化学物質が漏洩しないように施工します。吸着材と同じように展示期間中の遮蔽は、汚染発生の全面を遮蔽することが難しく、また、ピンホール部分や隙間が生じ、完全に汚染化学物質の漏洩を防げませんので、展示ケース内の大幅な濃度低減はできません。さらに、一旦外すと再び濃度が高くなるので注意が必要です。

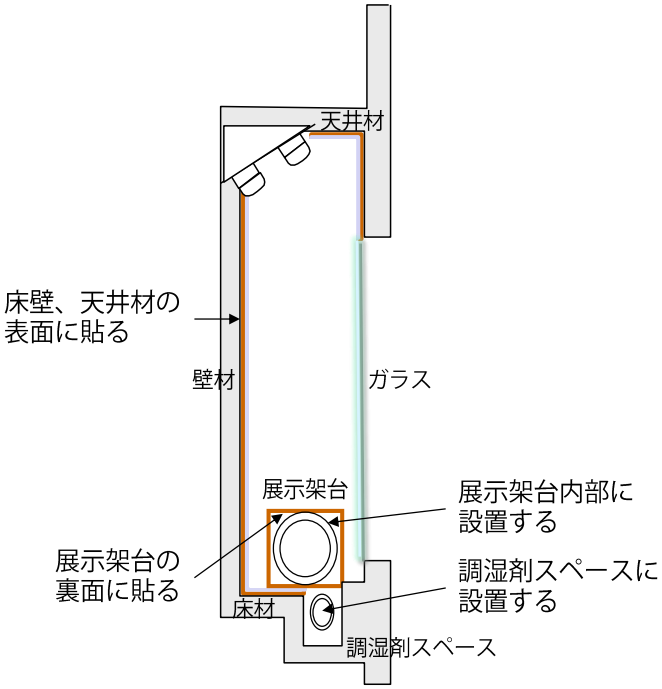


図 12　展示ケースの吸着材・遮蔽材取り付け

5.3　展示室・収蔵庫を換気して清浄化する

展示室･収蔵庫の空気が汚染されている場合、換気による汚染化学物質の排出に努めてください。空調のある部屋では、空調機の外気取り入れ量を増やしてください。

【解説】

一般に、外気中のアンモニアや酢酸・ギ酸といった有機酸濃度は低いので、空調機の外気取り入れ空気によって換気し、清浄化がはかれます。設計図面から最大の外気取り入れ量を確認し、現在の空調機がどのくらいの風量で運転されているか確認します。空調機に外気の取り入れ空気量を増やす余力があれば、館を維持している担当者と相談して外気量をあげてください。部屋の出入り口扉の開放による換気は、前室や廊下の空気と入れ替わりますが、前室や廊下の空気が清浄である必要があり、また、空気の経路によっては虫の侵入、埃の侵入、温湿度が影響しますので注意してください。

5.4　展示ケースを換気して清浄化する

展示ケースの空気が汚染されている場合、展示室の空気が清浄であれば、展示ケースの扉を開放して展示室の空気と入れ替えてください。資料を展示したまま展示ケースを換気する場合、展示室の温湿度が空調により所定の温湿度に維持された状態であることを確認してから、おこなってください。

【解説】

エアタイト展示ケースは、内装材料からの汚染化学物質の発生が微量な場合でも、汚染化学物質濃度が上昇します。そのため、こまめに展示ケースを開放し、空気清浄化をはかります。

壁面展示ケースには、資料の出し入れの扉が側面一箇所、両側、また前面のガラスをスライドさせるなどの形式があります。独立型展示ケースでは、前面のガラス扉を開放、昇降による開放などがあります。両者とも、可能な限り全開放としてください。

展示ケース扉を開放し、扇風機や送風機を利用して風を送ることで、換気の効率をあげることができます。風速が速いほど、換気の効率が上がります。風の通り道が対角になるように送風できると、換気効率は数十倍上がります。たとえば、壁面展示ケースで両側に扉がある場合、両側の扉を開放することで効率が上がります。(図 13)。

展示室内の空気による換気をおこなう場合、展示ケース内は展示室の温湿度の影響を受けます。展示室が空調により所定の環境が整っているということを確認してから、換気してください。また、展示室が塵埃で汚れている、虫が侵入しやすいといった場合は、それらの対策をおこなってから換気してください。

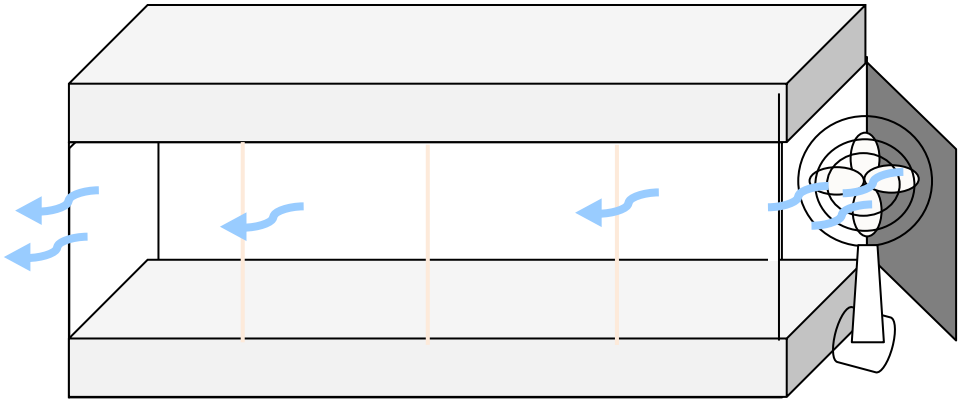


図 13　展示ケースの換気方法

5.5　空調機にケミカルフィルタを取り付けて清浄化する

空調機に新たにケミカルフィルタをつけることにより、清浄化がはかれます。ただし、その部屋の空調機にケミカルフィルタが取り付けられるかを事前に確認する必要があります。

【解説】

展示室や収蔵庫で汚染化学物質濃度が高い場合、空調のケミカルフィルタの取り付けを検討します（図 14）。空調機のファンの空気を送る力、取付けスペースがあればケミカルフィルタの設置が可能です。取付けるスペースがない場合、シート状のケミカルフィルタをプレフィルタ部に設置する方法もありますが、シート状のケミカルフィルタは化学物質を吸着する容量が少なく、早く寿命に達し交換時期も早くなります。また、効率もよくありません。空調によって対応できない場合は、効率は劣りますが室内にケミカルフィルタを備えた小型空気清浄機を設置して清浄化をはかります。

既にケミカルフィルタが取り付けられている場合、問題となっている汚染化学物質を除去できているか、ケミカルフィルタが寿命に達していないかを調べてください。

ケミカルフィルタの選定に当たっては「3.1　ケミカルフィルタで取り除く」を参考にし、建物を管理している担当者と相談してください。また、ケミカルフィルタの交換時期はフィルタメーカーに問い合わせください。

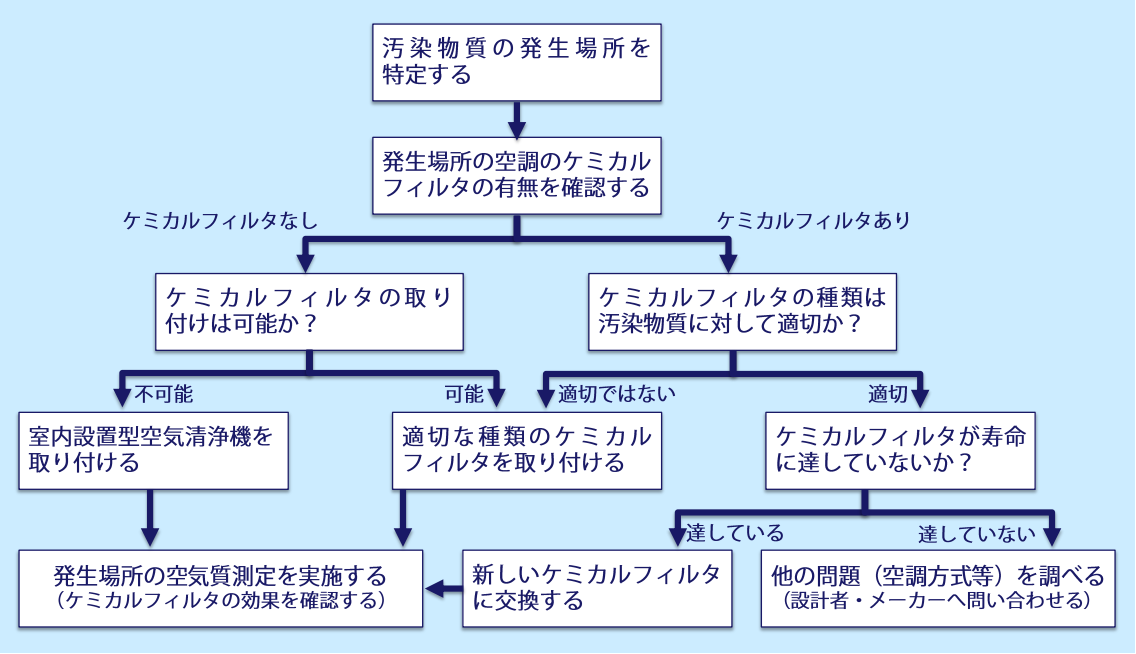


図 14　ケミカルフィルタの取り付けチェックフロー

よくある質問

よく寄せられる質問と、参考にしていただきたい本手引きの参照先を掲載しました。

施設全体	参照
展示・収蔵環境の空気環境基準はありますか。	2.1
入館者が多い時に展示室の空気の汚れが気になります。空気の汚れの度合いは、どのようにして決まるのでしょうか。	2.2-2.5
室内空気の汚染を調べようと思います。何を測ればいいですか。測る時の条件、特に空調のある展示室、収蔵庫での条件を教えてください。また、簡易に測定できる方法と機材についても教えてください。	4.1, 4.2
展示室の空気質改善のために換気をしたいのですが、空調で換気をおこなう場合の注意点を教えてください。	2.3, 2.4
展示室の空気をきれいにするために、空調機に汚染化学物質を除去するフィルタをつけようと思いますが、効果はあるのでしょうか。また、既存の空調機に後からつけられますか。	3.1, 5.5
施設の改築を計画しています。事前に担当者に展示室、収蔵庫に汚染化学物質を除去するフィルタの取り付けをお願いしようと思います。どのような指示をしたらよいでしょうか。	3.1, 5.5
展示ケース	
展示ケースを開けた時に異臭がします。大丈夫でしょうか。	2.5, 4.3
展示ケースの空気汚染を測定する時、展示ケースの扉を閉鎖後どれくらいの時間をとってから測定するのがよいか教えてください。	4.3
展示ケース内の湿度を一定に保ちたいので、エアタイトケースを使用しています。空気清浄化のために、展示室の空気による換気をしようと思いますが、影響はないでしょうか。	5.4
内装材料	
展示室や展示ケースの内装材料の選定する時、使ってよい材料を教えてください。	3.3
材料からの汚染化学物質発生の低減方法があれば、教えてください。	3.4
展示室で使われる内装材料からの汚染化学物質量の表し方と試験方法を教えてください。この試験結果から、どのように判断したらよいでしょうか。	3.2, 4.1
内装材料らの空気汚染を小さくするのに枯らしの効果はありますか。内装材料からの汚染化学物質の放散は、どのくらいの期間にわたって発生するのですか。	3.4
展示ケースの内装材料や展示架台から汚染化学物質の放散があるようです。遮蔽材と吸着材の選び方、設置の時の注意点を教えてください。	5.2

付録

【検知管の使用方法】

準備

検知管（光明理化学工業扱い　北川式検知管　美術館用有機酸 910、アンモニア 900NHH)、温度計を用意します。

設置

測定開始前に検知管の両側のガラス先端部を専用カッターでカットし、ポンプ(光明理化学工業 ASP1200 ほか)吸引口に樹脂製のチューブを取り付け、検知管を設置します。

- 検知管の取り付け方向：検知管に印字されている空気の流れ（→の方向）をポンプ吸引口に向け、チューブにしっかりと差し込みます。

測定

ポンプは、あらかじめ規定の吸引時間と流量をセットしてください（表付 1)。吸引時間は通常 1 時間ですが、有機酸の検知管は 30 分間でもかまいません。この場合、読み取り値に係数 2.5 を掛けた値が濃度となります。
有機酸の検知管の読み取り値は、測定時の温度が影響するので、同時に測定した温度により補正します。(読み取り値は 20℃基準での濃度です。詳細は取扱説明書を参照ください。)

図付 1　検知管の取り扱い

表付 1　検知管測定条件など

	有機酸 910	アンモニア 900NHH
測定範囲	酢酸換算 10－1000 μg/m³ ギ酸換算 20－800 μg/m³	10－80 μg/m³
吸引流量と吸引時間	200 mL/分×60 分（または 30 分）	400 mL/分×60 分
色の変化	淡桃色→淡黄色	淡紫色→淡黄色
保管　有効期限	冷暗所　3 年間	冷暗所　2 年間
使用温度湿度範囲	5－35℃　要温度補正（20℃校正)、20－80%rh	10－40℃、10－90%rh

【パッシブインジケータの使用方法】

準備

有機酸用とアンモニア用のパッシブインジケータ（内外テクノス扱い　有機酸 CID-80、アンモニア CID-3）を用意します。

- パッシブインジケータは冷暗所に保存してください。
- パッシブインジケータは有効期限を確認の上、使用してください。

設置・測定

袋からパッシブインジケータを取り出します。取り出しは、測定開始直前に設置場所でおこなってください。

パッシブインジケータを測定場所の室内大気に曝露します。ガス透過孔を塞がないよう、クリップなどで留めて設置してください（図付 2）。

有機酸とアンモニアの両者を測定する場合は、同一の箇所に設置してください。曝露時間は、アンモニア用（ピンク色）が 4 日間（96 時間）、有機酸用（青色）が 4 日間（96 時間）、または 7 日間（168 時間）です。

展示室:できる限り展示期間中と同じ空調設定のもとで測定してください。

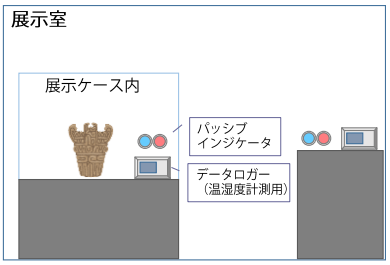
収蔵庫：高さ 1 m程度の場所に設置してください。

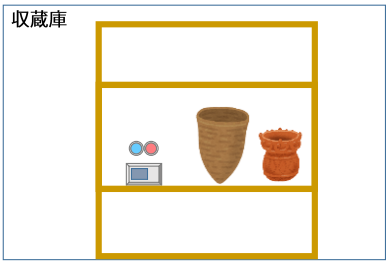
- 出入口や空調の吹出し口付近の設置は避けてください。

記録

曝露後は、ただちに目視による色の判定を行い、写真を撮影し記録として残してください。

曝露後の判定は図付 3 に示すように、完全変色までに至らない変色や完全変色を超えた色味になる場合があり、測定物質の濃度が高いほど、完全変色までの時間が短くなります。完全変色に至らない場合、その中間の色味を表に示すように判定します。





図付 2　パッシブインジケータの取り扱い

有機酸用					
アンモニア用					
判定表示	−		+++		+++以上
色の判定	変色なし		完全変色		完全変色を超えた色
汚染レベル[15]	検出限界以下清浄		基準値に達している		基準値を超えている

図付 3　パッシブインジケータの変色と判定

表付 2　パッシブインジケータの判定

判定表示	色の判定	汚染レベル [15]
−	まったく変色なし（もとのまま）	検出限界以下 清浄
(+)	わずかに変色（わずかに変色した粒がある）	検出されるが微量
+	やや変色（あきらかに変色した粒が混ざっている）	微量
++	変色（わずかにもとの色がのこる）	基準値以下だが当該ガスが存在している
+++	完全変色（すべてが変色している）	基準値に達している
+++以上	完全変色を超えた色	基準値を超えている

[15]）佐野千絵，吉田直人，石崎武志．文化財公開施設の空気環境評価における変色試験法の再評価－パッシブインジケータとの相関．保存科学. 45, 215－226（2006）

【変色試験紙法の使用方法】

準備

瓶に入った赤い試験液と付属の変色試験紙（モニターストリップ)、吸い取り用ろ紙、判定票のセット（文化財虫菌害研究所扱い　環境モニター）を用意します。

測定準備

モニターストリップは先端が白いろ紙になっています。「環境モニター」と書かれた黒い部分を持ち、ろ紙部分を手で触らないようにして試験液に浸し、赤く染めます。この時、試験液をつけすぎないように、ろ紙部分は試験液に浸したらすぐに上げてください。

- 試験液の入った試薬瓶は、ろ紙に試験液をつけたら、すぐに蓋をしてください。

モニターストリップのろ紙部分についた余分の試験液を、付属の吸い取り用ろ紙で上下からはさんで押さえるという操作を繰り返し、余分な試験液を吸い取ってください（吸い取り用ろ紙側に色がつかなくなるまで繰り返す)。この操作を終えた段階で、モニターストリップのろ紙部分の色は黄色になります。
この時にモニターストリップのろ紙部分に試験液が過剰に残ると、色調が暗めになり判定に誤りを生じやすくなります。また、ろ紙の中央部に試験液が残っていると、色むらが生じます。

設置・測定

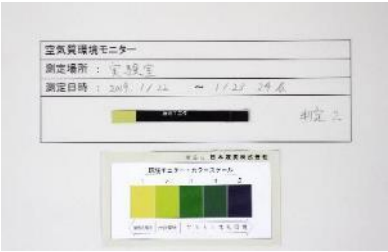
試験液に浸したモニターストリップは、室内や展示ケース内の全体の空気を調査できるよう、壁などにテープなどを用いて黒色部分を留めてください。壁などに貼る場合、内装材料の壁面や木製の棚などに貼り付けるのは避けてください。モニターストリップのろ紙部分は、どこにも接触させず、中空に浮く形にしてください。

図付 4　変色試験紙の取り扱い

記録

設置時刻を記録し、24 時間放置します。終了したら終了時刻を記録します。

24 時間放置後、モニターストリップのろ紙部分は環境に応じて黄色（酸性）～黄色～黄緑色（中性）～紺色（アルカリ性）に変化します（付属基準色票参照）。変化したモニターストリップをカラースケールとともに写真撮影します。色が黄緑色（中性）であれば、測定した空間の空気環境が良いと判断できます。



使用上の注意

- 試験液は密封し光りを避けて、冷蔵庫で保存してください（冷暗所保存）。使用期間は、冷暗保管で 1 年間です。
- 試験液が残り、モニターストリップがなくなった場合、代用品として化学実験用ろ紙（例えば、東洋ろ紙定性用 NO.5 シートタイプ）を利用できます。ろ紙は約 1 cm 角に切断し、糸などで吊るせるように工夫し、ろ紙の表面は手で触らないようにしてください。

参考図書・参考文献

- 佐野千絵, 呂俊民, 吉田直人, 三浦定俊. 博物館資料保存論 文化財と空気汚染. みみずく舎（2010）
- 三浦定俊, 佐野千絵, 木川りか. 文化財保存環境学（第 2 版）. 朝倉書店（2016）
- 東京文化財研究所編. 博物館資料保存論. 中央公論美術出版（2011）
- 日本建築学会編. シックハウスを防ぐ最新知識. 日本建築学会（2005）
- 佐野千絵. 文化財のための美術館・博物館の空気環境の現状と対策. 空気清浄. 55（4）, 3－11（2017）
- 呂俊民. 文化財のための美術館・博物館における空気清浄の役割. 空気清浄. 53（6）, 40－47（2016）
- 佐野千絵, 古田嶋智子, 呂俊民. 有機酸放散量の多い展示ケース内の改善対策事例. 保存科学. 52, 185－195（2013）
- 佐野千絵, 古田嶋智子, 呂俊民. 展示ケース内有機酸の低減対策の評価法. 保存科学. 53, 33－44（2014）
- 佐野千絵, 古田嶋智子, 呂俊民. 展示ケース内有機酸濃度への展示台の寄与. 保存科学. 55, 79－88（2016）

「美術館・博物館のための空気清浄化の手引き」（平成 31 年 3 月改訂版）

2019 年 3 月 29 日発行

企画：独立行政法人国立文化財機構　東京文化財研究所　保存科学研究センター
保存環境研究室
執筆：呂俊民、石井恭子、古田嶋智子
監修：佐野千絵、吉田直人